Ueber das spezifische Gewicht und die chemische Zusammensetzung der Knochensubstanz von Lauf- und Schrittpferden in ihrer Beziehung zur Knochenfestigkeit.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der Hohen Philosophischen Fakultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Heinz Henseler

aus **Euskirchen**, Bezirk Cöln a. Rh.

Halle a. S.
Buchdruckerei Hohmann
1910.

Referent: Herr Professor Dr. med. und Dr. sc. nat. Rudolf Disselhorst.

Meinen lieben Eltern.

Inhaltsverzeichnis.

I. Einleitung. Was bestimmt die Knochenfestigkeit? 5

II. Das spezifische Gewicht des ganzen Knochens . . 6

Zerteilung des Knochens zur Probenahme . . 8

Das spezifische Gewicht der eigentlichen Knochensubstanz 10

Porösitätsberechnungen 15

Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse . . . 15

III. Die chemische Zusammensetzung der eigentlichen Knochensubstanz 16

Die Bestandteile der Substanz 18

Die Mineralbestandteile der Asche 27

IV. Schlußfolgerungen 39

Einleitung.

In einer vorhergehenden Arbeit[1]) habe ich die **Literatur** über Untersuchungen der Knochenfestigkeit bei Lauf- und Schrittpferden zusammengestellt und erörtert, **welche** von unseren heutigen Pferdegruppen die **Extreme darstellen** und, **von welchen** Pferdetypen am zweckmäßigsten das Material zur Untersuchung zu **nehmen** ist. Dann folgten Untersuchungen der **Körpermaße** und anderer Merkmale und schließlich Betrachtungen über die **dimensionale** und **formale Ausbildung** des **Vordermittelfußknochens** in zahlreichen Beziehungen und und Verhältnissen. Hier soll in Beziehung auf die Knochenfestigkeit das **spezifische Gewicht** und die **chemische Zusammensetzung der Knochensubstanz** behandelt werden. Dabei ergiebt sich uns zunächst folgende Frage:

Was bestimmt die Knochenfestigkeit?

Prüft man, was die eigentliche **Knochenfestigkeit** bedingt, deren Erforschung bei den verschiedenen Pferdegruppen hier die Hauptaufgabe sein soll, so müssen wir auf Grund der bisherigen Feststellungen sagen, daß man über die Bedingungen der Knochenfestigkeit bis jetzt noch keinen genügenden Anhalt gewonnen hat. Auch meine früheren Ermittelungen sind nur als **Vor**untersuchungen anzusehen. Wenn ich

[1]) Diese Dissertationsschrift bildet einen Teil einer größeren Arbeit, deren Titel „Die Knochenfestigkeit bei Lauf- und Schritt-Pferden“ ist, und welche demnächst erscheinen wird.

auch z. B. feststellte, daß die Schrittpferde **stärkere Gelenke** aufweisen, daß dieselben **abgeplattetere Knochen** besitzen, daß wir die Schrittpferde als **dünn- und hohlknochiger** bezeichnen können als die Laufpferde, so ist dies doch noch nicht ausreichend, um eine **sichere** Aufklärung über die Qualität des Knochenmaterials zu geben. Ich hielt es nun vor allem für nötig, auch die **chemische Zusammensetzung** zu ermitteln; weiter ist es dann natürlich von großem Wert, die **physikalisch-mechanischen Eigenschaften** zu prüfen und schließlich auch den **histologischen Aufbau** des Knochens zu untersuchen. Als Produkt aller dieser Eigenschaften ist gewissermaßen das **spezifische Gewicht** anzusehen, weshalb ich auch möglichst genaue Bestimmungen desselben für notwendig hielt. Dies kann dann dienen, einerseits um einen einheitlichen Ausdruck für den Unterschied im Knochenmaterial der Lauf- und Schrittpferde zu bilden, andererseits um eine Kontrolle für die übrigen in Aussicht genommenen Untersuchungen zu gewähren. Zunächst soll hier die Bestimmung des spezifischen Gewichts besprochen werden.

Das spezifische Gewicht des ganzen Knochens.

Gehen wir davon aus, daß das **spezifische Gewicht** das Gewicht eines Kubikzentimeters der betreffenden Substanz ausdrückt, bezw. das Verhältnis von Gewicht zu Volumen ist, so können wir nun bei unserer Aufgabe einerseits den **ganzen Knochen**, also Knochensubstanz inkl. mit Mark ausgefüllten Hohlraum, als Substanz auffassen, oder andererseits die **eigentliche Knochensubstanz** gesondert nehmen, und das spezifische Gewicht derselben bestimmen. Im letzteren Falle haben wir wieder zu unterscheiden das spezifische Gewicht der Substanz ohne Poren von dem der Knochenmasse mit Poren.

Nach anderen von mir angestellten Untersuchungen, welche in einer besonderen Arbeit veröffentlicht werden sollen, und deren Ergebnisse in der Tabelle Nr. 2 am Schluß zusammengestellt sind, stellt sich heraus, daß die Durchschnittszahlen für das spezifische Gewicht des **ganzen unverletzten** Röhrenknochens zwar ganz wenig, aber etwas höher bei den Laufpferden sind. Es ist aber die Schwankung innerhalb der Maximal- und Minimalgrenzen bei beiden Pferdegruppen so groß, daß **keine** bestimmten Folgerungen gezogen werden können zugunsten einer Pferdegruppe. Wir müssen deshalb annehmen, daß das spezifische Gewicht im Durchschnitt etwa gleich ist. Aehnlich sind die Befunde Wolters über das spezifische Gewicht des **ganzen** Knochens[1]). Ich werde an anderer Stelle den Beweis bringen, daß die Schrittpferde ein bedeutend größeres Lumen des Knochens im Verhältnis zur eigentlichen Knochensubstanz und zum Gesamtquerschnitt aufweisen. Nun ist ferner das Knochenlumen bei beiden Pferdegruppen mit einer Marksubstanz ausgefüllt, welche fast in nichts verschieden vom Fett[2]) und daher spezifisch leicht ist. Es wird daher das spezifische Gewicht des ganzen Knochens bedeutend herabgedrückt durch die Marksubstanz, und dies in erhöhtem Maße bei einem verhältnismäßig großen Lumen, wie es die Schrittpferde aufweisen. Es ist daher folgender Schluß berechtigt: Wenn die Schrittpferde ein verhältnismäßig größeres Knochenlumen besitzen als die Laufpferde, das spezifische Gewicht des ganzen Knochens aber gleich ist dem der Laufpferde, so muß die

---

[1]) Vergl. A. Wolter: „Untersuchungen am Metacarpus von Lauf- und Schrittpferden besonders auf Biegefestigkeit.“ Jena 1907, S. 9.

[2]) Vergl. R. Disselhorst: Anatomie und Physiologie der großen Haussäugetiere, Berlin 1906, S. 54.

eigentliche Knochensubstanz der Schrittpferde ein höheres Gewicht besitzen als die der Laufpferde.

Dabei kann es aber nun wieder möglich sein, daß das höhere spezifische Gewicht verursacht wird entweder durch die eigentliche Knochensubstanz ohne Poren oder durch die mehr oder weniger dichte Struktur des Knochengewebes, oder gar aus beiden Ursachen, worüber erst genauere Untersuchungen Aufschluß geben können.

Zerteilung des Knochens und Probenahme.

Bevor ich auf weitere, spezielle Bestimmungen des spezifischen Gewichts eingehe, ist es nötig, ein Bild zu geben von der **Probenahme** und der dazu nötigen **Zerteilung** des Knochens. Ich verweise auf die Figuren Nr. 1 und 2. Während für die äußeren Messungen am Mittelfußknochen **beide** Knochen herangezogen, ferner die Querschnittsflächenberechnungen, sowie Konkavitätsbestimmungen nur am **linken** Knochen durchgeführt wurden, diente der **rechte** Knochen dazu, Material zu liefern für die Feststellungen, die den Hauptgegenstand der folgenden Arbeit ausmachen sollen.

Der rechte Knochen wurde zunächst im Längsmittelschnitt, wie Figur Nr. 1 zeigt, durchgesägt. Die Schnittlinien wurden vorher auf der Knochenoberfläche aufgezeichnet. Das Sägen führte ich bei allen Schnitten zuerst mit der Handsäge aus. Es war dies möglich, aber unbequem und erforderte für eine genaue Ausführung viele Uebung. Um den Schnitt genauer zu führen, benutzte ich später die Drehbank einer Werkstätte für Präzisionsmechanik hierselbst, auf welcher durch Treten eine Holzkreissäge kleinsten Durchmessers (ca. 15 cm.) in Rotation versetzt wurde. Damit war das Zerschneiden verhältnismäßig schnell und sehr exakt möglich. Durch einen zweiten Schnitt

wurde der obere Gelenkkopf der medialen Hälfte abgesägt (vgl Fig. Nr. 1), um exakter den dritten Schnitt anbringen zu können, welcher etwa ein Zentimeter vom Längsmittelschnitt ebenfalls in der Längsrichtung an der Seite verlief. Ich wählte absichtlich die mediale Seite, weil, wie wir anderorts feststellten, die Knochenwand nach der medialen Seite an Dicke zunahm. Ich erhielt hierdurch einen **Knochenstreifen**, von welchem der mittlere Teil in einer Länge von je 4 cm ober- und unterhalb der „kleinsten Breite", also in Summa 8 cm, als **vierkantiger Stab** herausgearbeitet wurde für physikalisch-mechanische Prüfungen. Dabei blieben noch Knochenstücke übrig, aus denen **Würfel** angefertigt wurden, ebenfalls für physikalisch-mechanische Prüfungen. Ich verlegte absichtlich die Mitte des Balkens an die Stelle der „kleinsten Breite", weil hier die kompakte Knochensubstanz am dicksten ausgebildet war. Im ganzen erhielt ich auf diese Weise drei Knochenwürfel, und zwar zwei aus dem oberen Teile des Knochens, oberhalb des Balkens, bezeichnet mit Würfel Nr. 1 und Nr. 2, und einen unterhalb des Balkens, aus dem unteren Teile des Knochens, bezeichnet mit Würfel Nr. 3. Sodann zerschnitt ich beide Resthälften des Knochens quer an den Stellen der „kleinsten Breite" und „Mitte" und entnahm von der medialen Hälfte an der „Mitte" von dem unteren Knochenreste eine **Scheibe,** aus der später der Knochenschliff hergestellt wurde, welcher zur mikroskopischen Untersuchung des Knochengewebes diente. Nachdem möglichst das Knochenmark und die aufgeblätterte Kompakta, die Spongiosa, aus dem oberen Knochenreste der lateralen Hälfte entfernt war, stellte ich durch Feilen, an der „kleinsten Breite" beginnend, etwa 20 g **Knochenpulver** her, welches zur chemischen Untersuchung verwandt wurde.

Das spezifische Gewicht der eigentlichen Knochensubstanz.

Was nun die Bestimmungen des spezifischen Gewichts der eigentlichen Knochensubstanz betrifft, so sind deren Resultate auf Tabelle Nr. 2 verzeichnet.

Ich maß zunächst am Knochenwürfel Nr. 3, dessen Flächen möglichst parallel zu einander gefeilt und schließlich auf Platten von Mattglas glatt poliert waren, die Länge, Breite und Höhe je viermal an den Ecken mit einem Mikrometer, welches eine Genauigkeit von 0,001 mm gestattete, und bei dem die Nullpunktskorrektion — 0,01 mm betrug. An den Längsseiten, wo genügend Platz zur Verfügung stand, wurde das Mikrometer meist noch in der Mitte an zwei Stellen angesetzt. Maßgebend waren die aus den Vergleichsmessungen gewonnenen Mittelzahlen. Das **Volumen** des Würfels bestimmte ich durch **Multiplikation von Länge, Breite und Höhe.** Außerdem ermittelte ich das Gewicht auf einer analytischen Wage. Daraus war dann eine angenäherte **Berechnung** des spezifischen Gewichts möglich. Dieselbe Bestimmung wurde am Würfel Nr. 3 zweimal ausgeführt, nur mit dem Unterschied, daß jedesmal die Maße durch Feilen etwas verändert waren, so daß es sich zwar um dasselbe Knochenstück, aber dieses in jedesmal veränderten Dimensionen handelte. Es ist dies das spezifische Gewicht der Substanz inkl. Hohlräume.

Es zeigt sich nun, daß das **spezifische Gewicht** im Durchschnitt bei den **Schrittpferden größer** ist als bei den Laufpferden bei beiden Bestimmungen. Die Schwankungen sind ja sehr groß, aber es ist doch bemerkenswert, daß bei dieser doch verhältnismäßig groben Bestimmungsmethode **beide Mal** die

Schrittpferde ein **höheres** spezifisches Gewicht im Durchschnitt aufweisen.

Ich habe nun weiter von dem Knochenwürfel Nr. 3 **Bestimmungen** des spezifischen Gewichts ausgeführt, indem ich mit Hilfe des **Pyknometers** und des **Volumenometers** das **Volumen** ermittelte.

Beim Pyknometer kam es darauf an, das Volumen des Würfels zu bestimmen, ohne daß in beträchtlichem Maße die Luft aus den Knochenkanälchen entwich. Hierfür ist eine Methode wertvoll, die in Wiedemanns[1]) „Annalen der Physik" von Zehnder beschrieben ist, bei der sich der Vorgang der Bestimmung kurz folgendermaßen gestaltet. Der Knochenwürfel wird in das leere Pyknometer eingeführt, darauf wird dieses verschlossen und unter Wasser umgekehrt wieder geöffnet, so daß für den nun herausfallenden Knochenwürfel eine Menge Wasser, die dem Rauminhalt des Würfels inkl. Hohlräume entspricht, ins Pyknometer eindringt; sodann wird das Pyknometer unter Wasser wieder geschlossen, herausgenommen, abgetrocknet und gewogen. Diese Methode ist von Zehnder gut durchgearbeitet. Ich habe nun gefunden, daß ich mit Knochenwürfeln auch mit der gewöhnlichen Methode mit Hilfe des Pyknometers für einen Vergleich genügend genaue Resultate gewinnen konnte, und zwar bei großer Zeitersparnis. Diese gewöhnliche Methode führte ich in folgender Weise aus. Der Knochenwürfel wurde zunächst gewogen, ferner das Pyknometer mit Wasser gefüllt und gewogen; sodann führte ich den Knochenwürfel ein, nachdem ich denselben rasch einmal kurz vorher der Reihe nach in Aether, Alkohol und Wasser getaucht hatte. Ich erzielte so

[1]) Vgl. Wiedemanns Annalen der Physik Nr. 29, S. 249, 1886.

eine vollständige Benetzung der Oberfläche. Sollte dennoch sich an der äußeren Wand des Knochens im Pyknometer eine Luftblase bemerkbar machen, so kann man durch rasches Schütteln diese schnell entfernen. Man muß aber dann sofort das Pyknometer schließen. Kurz nach der Einführung des Würfels sieht man nach einer Weile aus den feinen Kanälchen des Knochens winzige Luftblasen hervorquellen, da das Wasser allmählich ins Innere eindringt. Diese Luftbläschen konnten bei der Wägung jetzt nicht mehr stören, da das Pyknometer ja bereits vorher geschlossen wurde. Ich habe also festgestellt einerseits das Gewicht des Pyknometers inkl. Wasser, andererseits das Gewicht des Knochenwürfels, und ferner das Gewicht des Pyknometers inkl. Wasser, weniger dem vom Würfel inkl. Luft verdrängten Teil und Knochenwürfel. Durch Subtraktion erhalte ich das Volumen des Knochenwürfels inkl. Luft. Die Rechnung ist dann folgende: Gewicht von [Pyknometer + Wasser] + Gewicht vom Würfel] — Gewicht von [Pyknometer + (Wasser — dem vom Würfel verdrängten Teil) + Würfel] = Gewicht des vom Würfel verdrängten Wassers = Volumen des Würfels.

Die soeben beschriebene Methode wurde mit den fast gleichgroßen Würfeln in gleicher Weise durchgeführt. Dabei erwies sich wieder das spezifische Gewicht bei den **Schrittpferden** als **höher**, und zwar diesmal sehr typisch. Während die Zahlen der Laufpferde von 1,913 bis 1,985 schwanken liegen die Zahlen der Schrittpferde zwischen 2,008 und 2,192.

Außerdem führte ich die Bestimmung des Volumens desselben Würfels mit Hilfe des Volumenometers aus. Eine Beschreibung der Methode findet sich in F. Kohlrausch: Lehrbuch der praktischen Physik (10. Aufl., Teubner, Leipzig und Berlin 1905) S. 78. Die wichtigsten Punkte sind folgende.

Zur Anwendung kommt das Boyle-Mariotte'sche Gesetz, wonach bei ungeänderter Temperatur das Produkt aus Druck und Volumen einer Luftmasse konstant ist. Es wurde zunächst eine konstante Luftmenge über Quecksilber unter dem atmosphärischen Barometerstande von H mm abgesperrt. Dann wurde das zu bestimmende Volumen V um eine gemessene Grösse, z. B. v = 31,3 ccm, vergrößert und die dabei stattfindende Druckänderung h mm Quecksilber beobachtet.

Dann ist $V \times H = (V + v) \times (H - h)$; $V = v \frac{H - h}{h}$. Nachdem so das Volumen des leeren Gefäßes bestimmt worden war, wurde der Körper hineingebracht und ebenso verfahren. Die Messung ergab dann ein anderes Volumen V'. Das gesuchte Volumen des Knochenstückchens war dann V — V'. Die Richtigkeit dieser Methode wurde von mir durch Vorversuche mit Zinkstückchen festgestellt. Durch eine Fettschicht sicherte ich die Dichtigkeit des Abschlusses, die ich dadurch kontrollierte, daß die Druckhöhe auch nach einer Viertelstunde unverändert blieb. Zur Sicherheit wurden alle Bestimmungen zweimal vorgenommen. Die Ausführung dieser ganzen Bestimmungen erfolgte im Physikalischen Institut der Universität Halle a. S., dessen Einrichtung mir in freundlicher Weise der Direktor desselben Herr Geh. Reg.-Rat Professor Dr. E. Dorn zur Verfügung stellte. Die Dimensionen des von mir benutzten Apparates waren für einige Knochenwürfel insofern ungeeignet, als v und h bei der Kleinheit der Objekte zu gering waren. Die mit dieser Einschränkung gewonnenen Zahlen sind in Liste Nr. 2 mit * vermerkt und blieben bei der Berechnung des Durchschnitts unberücksichtigt. Die anderen Zahlen stellen dagegen Resultate von ausreichend genauen Bestimmungen dar. Der Apparat war natürlich noch besser geeignet bei der Untersuchung

einer größeren Anzahl von Würfeln auf einmal. Ich bestimmte daher das Volumen aller von den Laufpferden gewonnenen Würfeln auf einmal, und ebenso auch von den Schrittpferden. Die gewonnenen Resultate lieferten demnach brauchbare Durchschnittszahlen für die Pferdegruppen.

Es erweisen sich nun hier in beiden Fällen wiederum die **Schrittpferde** in der Größe des spezifischen Gewichts **überlegen.** Da aber einerseits durch die Volumvergrößerung v, die Luft in dem abgesperrten Gefäß stark verdünnt wurde, andererseits die Hohlräume der Knochenstückchen meist Verbindung nach außen besaßen, so kann man annehmen, daß obige Bestimmung des spezifischen Gewichts annähernd für die Knochenmasse ohne Hohlräume gilt.

Um aber ganz sicher zu sein, daß alle Luft in den Kanälchen und Hohlräumen des Knochenmaterials mit der äußeren Luft in Verbindung stand und somit bei obiger Bestimmung des spezifischen Gewichtes nur die eigentliche Knochensubstanz in Frage kam, wandte ich die obige Methode noch bei gefeilter Knochenmasse an, wie ich sie für die chemischen Untersuchungen gebrauchte. Es wurden nur solche Knochenteilchen hierbei verwendet, die durch ein 1 mm Sieb gefallen waren. Da ich bei den einzelnen Bestimmungen einige Gramm Substanz, also eine für das Volumenometer genügende Menge, zur Verfügung hatte, so sind die Resultate ebenfalls als genügend richtig anzusehen.

Wenn auch die Schwankung beträchtlich ist, so kommt doch im Durchschnitt auch hier bei den **Schrittpferden** ein **höheres** spezifisches Gewicht heraus.

Es fielen also alle meine Bestimmungen des spezifischen Gewichtes zu Gunsten der Schrittpferde aus, wie schon bei der Betrachtung des spezifischen Gewichtes der Gesamtvorderröhren vermutet wurde.

Porösitätsberechnungen.

Da nun meine Bestimmungen sich einerseits beziehen auf Knochensubstanz inkl. Luft in den Kanälchen und Hohlräumen, andererseits auf eigentliche Knochenmasse ohne Hohlräume, so kann man daraus weiter die **Porösität** berechnen. Z. B. ergeben sich folgende Beziehungen, welche die letzten vier Reihen von Tabelle Nr. 2 leichter verständlich machen. Es wiegt von Laufpferd Nr. II ein Kubikzentimeter Knochensubstanz inkl. Hohlraum nach dem spezifischen Gewichte „H“ 1,981 g und nach dem spezifischen Gewicht „E“ 2,330 g. Ein Gramm hat demnach nach „H“ ein Volumen von $\frac{1}{1,981} =$ 0,505, resp. nach „E“ $\frac{1}{2,330} = 0,429$ ccm. Demnach ist das Volumen der Poren in einem **Gramm** $0,505 - 0,429 = 0,076$ ccm. Da nun 1,981 g nach dem spezifischen Gewichte „H“ ein Volumen von einem Kubikzentimeter hat, so beträgt die Porösität in einem Kubikzentimeter $= 0,076 \times 1,981 = 0,1506$ ccm oder 15,06 Volumprozente.

Es ergibt sich nun hier im Durchschnitt bei den **Laufpferden,** den vorher erwähnten Zahlen für das spezifische Gewicht entsprechend, eine **größere Porösität** in Volumprozenten ausgedrückt. Die Schwankungen sind hierbei bedeutend. Sie betragen bei den Laufpferden 14,12 bis 25,43 Volumprozent Porösität und bei den Schrittpferden 10,85 bis 17,90 Volumprozent.

Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse.

Aus den Resultaten der Tabelle Nr. 2 geht hervor, um es noch einmal kurz zu wiederholen, daß die **Schrittpferde** sowohl in ihrer eigentlichen Knochensubstanz ohne Berücksichtigung

der Hohlräume, als auch in derselben inkl. Hohlräume ein **höheres spezifisches Gewicht** und eine **geringere Porösität** des eigentlichen Knochenmaterials, woraus der Knochen aufgebaut ist, aufweisen. **Damit ist auch in dem Produkt der Eigenschaften, die in dem spezifischen Gewicht zum Ausdruck kommen, die Entscheidung zugunsten der Schrittpferde gefallen.**

Weitere spezielle Untersuchungen müssen nun erst folgen, um Klarheit darüber zu bringen, wodurch die Hauptunterschiede in der Substanz bedingt und wie die Unterschiede zu bewerten sind für die eigentliche Knochenfestigkeit.

Die chemische Zusammensetzung der eigentlichen Knochensubstanz.

Die Resultate der **chemischen Untersuchungen** sind in Tabelle Nr. 3 wiedergegeben. Die Bezeichnungen sind wohl ohne weiteres verständlich. Wie schon mitgeteilt, benutzte ich für die chemische Untersuchung **gefeilte Knochensubstanz,** die dem oberen Teile der lateralen Hälfte der rechten Röhre entnommen war, nachdem die innere Wand dieses Knochenteiles sorgfältig von Spongiosa und Marksubstanz befreit worden war. Die Substanz selbst wurde so gewonnen, daß das Knochenstück in einen Schraubstock eingespannt und mit einer Feile mit groben Hieb (sogenannte Strohfeile) gleichmäßig am unteren Querschnitt bearbeitet wurde. Bei einer gleichmäßigen und nicht stoßweisen Führung der Feile erreicht man es, daß möglichst wenig Feilenteilchen abspringen und in die Substanz gelangen. Die gefeilte Substanz wurde auf starkem, glatten Papier gesammelt, welches rund um den Knochen angebracht und zugleich mit diesem in den Schraubstock gespannt war.

Das Knochenmaterial für die chemischen Untersuchungen wurde gewöhnlich anderthalb Tage nach dem Schlachten des Tieres, also in noch frischem Zustande des Knochens hergestellt. Anderthalb Tage waren nämlich ungefähr nötig, um den Knochen zu präparieren und die Messungen vorzunehmen, bevor das Zerschneiden stattfinden konnte.

Die gefeilte Substanz wurde nun weiter gesiebt, sodaß nur Teilchen von weniger als 1 mm Durchmesser zur Verwendung kamen; sodann wurden alle etwa abgesprungenen Feilen- d. s. **Eisen-Teilchen** sorgfältig mit einem Magneten aus der Substanz entfernt. Dies gelang auch sehr gut, sodaß keine solche Teilchen zurück blieben; wenigstens konnte, wie aus der Tabelle ersichtlich ist, Eisen in der Asche nur in Spuren nachgewiesen werden, d. i. weniger als 0,01 %. Soviel ist etwa in den Blutresten vorhanden, die sich in den Ernährungskanälchen, welche die kompakte Knochenmasse allenthalben durchziehen, befinden. Nach J. Munk, „Physiologie des Menschen und der Säugetiere“ (4. Aufl. Berlin Hirschwald 1897) S. 17 und folgende, beträgt der Eisengehalt im Hämoglobin des Pferdes 0,47 %. Der Hämoglobingehalt des Pferdeblutes beträgt etwa 12,6 % bis 13,8 %. Das Eisen ist im Hämatin dem Farbstoff des Hämoglobins enthalten. Das Hämatin enthält 8,8 % Eisen und ist zu fast 5 % im Hämoglobin enthalten.

Durch Draht- und hinterher Haar-Bürsten ließ sich die Feile nach jedesmaligem Gebrauch vollkommen reinigen, sodaß sie für weitere Fälle gebrauchsfähig blieb. Die Feile ermöglichte es, an jeder beliebigen Stelle des Knochens Substanz in jeder Menge zu gewinnen, was bei der Methode der Zerkleinerung von Knochenstückchen im Mörser nicht so ausgiebig und leicht der Fall gewesen wäre.

Die auf obige Weise hergestellte Substanz war ein gelblich-weißes Pulver. Dieses wurde vier Stunden bei etwa 40 Grad Celsius getrocknet und dann etwa zwölf Stunden an der Luft stehen gelassen, sodaß dadurch eine bei allen Tieren gleichmäßige, lufttrockene Masse für die weitere Untersuchung erhalten wurde.

Die nun weiter folgenden, chemischen Bestimmungen wurden sämtlich doppelt ausgeführt. Die Parallelversuche ergaben überall übereinstimmende Resultate.

Auf Tabelle Nr. 3 befinden sich die ausgerechneten Prozentzahlen chemischer Bestandteile ausgedrückt in gewöhnlichen Benennungen. Es wäre zu weitgehend, die analytischen Belege der Zahlen dieser, sowie auch der anderen Tabellen mitteilen zu wollen.

Die Bestandteile der Substanz.

Von der nach obiger Weise hergestellten, feinen Knochensubstanz wurde nun zunächst zur Bestimmung der **Trockensubstanz** 1 g im gewogenen Filtergläschen bei 100 Grad Celsius bis zum konstanten Gewicht getrocknet.

Der prozentische Gehalt an Trockensubstanz schwankt bei den Laufpferden von 94,27 % bis 95,30 % und ist im Mittel 94,64 %; bei den Schrittpferden von 94,31 % bis 95,55 %, im Mittel 94,79 %. Bei **beiden Pferdegruppen** ergibt sich also ein fast **gleiches** Resultat.

Ebenso ist natürlich der prozentische Gehalt an hygroskopischem Wasser bei **beiden** Gruppen fast **gleich.** Er beträgt bei den Laufpferden im Durchschnitt 5,36 %, und bei den Schrittpferden im Mittel 5,21 %. Es zeigt sich also, daß durch das Vortrocknen ein genügend gleichmäßiges Material gewonnen wurde.

Dieselbe lufttrockene Substanz nun wurde weiter aus dem Filtergläschen quantitativ in einen vorher geglühten und gewogenen Porzellantiegel gebracht und zuerst über einer kleinen Flamme verkohlt, dann bei starker Hitze verascht. Ich erhielt ohne irgendwelche Zugabe eine reinweiße **Asche.** Es ist nun sehr schwierig, den wirklichen Aschengehalt bei einer solchen Knochensubstanz zu ermitteln. Dies liegt vor allem an dem Gehalt von Kohlendioxyd. Von diesem wird ein Teil, wie ich feststellte, bei gelindem Glühen bereits ausgetrieben, während es selbst beim stärksten Glühen unmöglich ist, die gesamte, vorhandene Kohlensäure zu verjagen, weil die Menge der Substanz — es handelt sich hier um etwa 0,6—0,7 g — zu groß ist. Die vorhandene **Kohlensäure** ist bekanntlich im Kalziumkarbonat gebunden. Nun entstehen einerseits beim Glühen aus den Dikalziumphosphaten höher basische Salze, wobei aus Kalziumkarbonat Kohlensäure ausgetrieben wird; andererseits entstehen beim Verbrennen der schwefelhaltigen Eiweißstoffe freie Säuren des Schwefels, die ebenfalls einen Teil der Kohlensäure aus dem Kalziumkarbonat austreiben unter Bildung von Kalziumsulfaten. Ich konnte mich nicht dazu entschließen, die entwichene Kohlensäure durch Benetzen der Asche mit Ammoniumkarbonat zu regenerieren, da bei Vorversuchen dieses Ammoniumkarbonat so stark absorbiert wurde, daß es nicht völlig zu vertreiben war. Ich entschloß mich daher, sehr stark und lange zu glühen, um möglichst in gleicher Weise die Kohlensäure aus dem Glührückstand zu vertreiben, und so für den Vergleich wenigstens ein genügend brauchbares Resultat zu erhalten. Es liegt aber immerhin in dieser Methode eine große Schwierigkeit, vergleichbare Resultate, vor allem mit anderen Arbeiten, zu erhalten, und es bedarf der genauesten Be-

schreibung der Gewinnungsart, um etwaige Differenzen aufklären zu können.

Meine Untersuchungen ergaben, daß der prozentische Anteil der Asche in Beziehung zur lufttrockenen Substanz bei **beiden** Pferdegruppen fast **gleich** war. Die Laufpferde hatten 63,69 % im Durchschnitt, die Schrittpferde 63,30 %.

Entsprechend beträgt der **Glühverlust** bei den Laufpferden im Mittel 30,95 % und bei den Schrittpferden 31,49 %. Die Schwankungen sind dabei sehr bedeutend und bewegen sich z. B. bei den Laufpferden zwischen 40,65 % bis 34,75 % an Glühverlust.

Es liegt dies an dem verschiedenen Gehalt der Knochensubstanz an **Fett.** Dieser Faktor muß also ausgeschaltet werden, um ein klares Bild von dem Gehalt an eigentlichen Aschenbestandteilen zu gewinnen. Die Fettbestimmungen wurden derart ausgeführt, daß 2 g Substanz mit Aether im Soxhlet'schen Extraktionsapparat extrahiert wurden bis zum konstanten Gewicht der Fettkölbchen, was gewöhnlich 20 Stunden dauerte. Im übrigen erfolgte die Bestimmung genau nach der Vorschrift, wie sie allgemein wohl üblich ist, und wie sie sich z. B. beschrieben findet in J. König, Untersuchung landwirtschaftl. und gewerbl. wichtiger Stoffe (Ersch. in Berlin bei Parey, 1906), S. 220 und folgende. Bei meiner Aetherextraktion handelt es sich wohl nur um Knochenfett, und man kann annehmen, daß keine weiteren Bestandteile im Aetherauszug eingeschlossen sind

Es ergibt sich nun in den Resultaten vor allem bei den Laufpferden eine auffallend große Schwankung, nämlich zwischen 0,45 % bis 9,18 % Fett. Hier sei ausdrücklich erwähnt, daß für die Herstellung der gefeilten Substanz **nur kompaktes** Knochenmaterial verwendet wurde, wobei mit äußerster Sorgfalt an der Innenwand die Spongiosa, d. i. aufgeblätterte Kompakta,

und alles Mark mit einem Messer und Tuch entfernt wurde. Das gewonnene Knochenmaterial ist trotzdem nach den Ergebnissen der Bestimmung **sehr verschieden fetthaltig.** Es liegt dies nach meiner Ansicht an dem **verschiedenen Ernährungszustand** der Pferde, indem sich das Fett als Reservestoff je nach der vorhandenen Menge und dem Verbrauch in den Geweben in verschiedener Weise festsetzt. Der außergewöhnlich hohe Fettgehalt von Laufpferd Nr. IV wurde durch vier Bestimmungen kontrolliert. Bei Betrachtung dieses Knochenstücks war äußerlich bereits an der dunkelgelben Farbe zu erkennen, daß ein fettreiches Material vorlag, welches durch und durch von Fett durchdrungen war. Im Gegensatz hierzu war bei den anderen Knochenstücken meist nur ein konzentrischer Ring um die Innenwand bemerkbar, der durch seine dunklere Tönung fettreicheres Material vermuten ließ. Es sei noch darauf hingewiesen, daß bei **beiden Pferdegruppen** im Mittel der Fettgehalt **derselbe** ist. Es würde sich dieses bei einer **größeren Anzahl** von Tieren **sicher ganz ausgleichen.**

Schalte ich nun die Fettprozente aus, so erhalte ich für die **fettfreie Trockensubstanz** bei den Laufpferden im Durchschnitt 91,96 %, schwankend zwischen 85,65 % und 94,16 %; bei den Schrittpferden schwankend zwischen 90,76 % und 93,37 %, im Mittel 92,02 %.

Bei dem Verhältnis der **Asche** in Prozenten der fettfreien Trockensubstanz bemerken wir dann sofort eine **ziemliche Ausgeglichenheit.** Es beträgt im Mittel bei den Laufpferden 69,26 % und schwankt nur zwischen 68,2 % und 70,0 %; bei den Schrittpferden im Mittel 68,78 %, schwankend zwischen 67,70 % und 69,80 %.

Im großen und ganzen weisen also **beide Pferdegruppen gleichen** Gehalt an fettfreier Trockensubstanz und

gleichen Aschengehalt in Prozenten der fettfreien Trockensubstanz auf.

Weiter wurde der Gehalt an **Stickstoff** bestimmt. Dies geschah in der Weise, daß 1 g Substanz nach der Kjeldahl'schen Methode[1]) untersucht wurde.

Es findet sich auch hier bei **beiden Pferdegruppen kein** wesentlicher **Unterschied.** Die Laufpferde weisen im Mittel einen Gehalt von 4,06 % Stickstoff auf, schwankend zwischen 3,76 % und 4,22 %; die Schrittpferde einen solchen von 4,02 % im Mittel, schwankend von 3,87 % bis 4,18 %.

Da sich nach Angabe von Holleman[2]) im **Leim** der Knochen etwa 17,9 % Stickstoff vorfindet, da ferner dieses Kollagen fast die einzige Substanz des Knochens ist, welche Stickstoff enthält, so benutzte ich für die Berechnung des **Proteins** aus dem Stickstoffgehalt den Faktor $\frac{100}{17,9} = 5,287$. Ich versuchte auch den Stickstoffgehalt im Leim der untersuchten Pferdeknochen zu ermitteln. Dies geschah auf zweierlei Weise. Einerseits löste ich durch Salzsäure die Mineralsubstanz des Knochens auf und filtrierte durch ein aschefreies Filter. Das Filter wurde dreimal mit 96 prozentigem Alkohol und darauf dreimal mit Aether zur Entfernung des Fettes ausgewaschen. Oft wurde beim ersten Auswaschen durch den starken Alkohol im Filtrat noch Eiweiß deutlich koaguliert, welches bei der feinen Verteilung wahrscheinlich durch das Filter gedrungen war. Es war dann ein zweites Filtrieren nötig: Das Filter mit dem fettfreien Rückstand wurde im Trockenschrank bei 100 Grad Celsius getrocknet und dann gewogen. In dem Rückstand wurde dann die Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl

---

[1]) Vgl. J. König a. a. O. S. 136.

[2]) Vgl. Holleman, Lehrb. der organischen Chemie (5. Aufl. 1907) S. 475.

ausgeführt. Eine 2prozentige Salzsäurelösung eignete sich am besten zum Lösen der Mineralbestandteile, was nach 48 Stunden unter öfterem Umschütteln vollständig eingetreten war. Man verwendet hierbei besser kleine Knochenstücke, als gefeilte Knochensubstanz. Andererseits wurde im Gegensatz zu der obigen Methode aus vorher von Fett befreiter Substanz mit Wasser der Leim ausgekocht, dann filtriert, und das Eiweiß im Filtrat mit Tannin wieder gefällt; dann wieder abfiltriert ausgewaschen, im Filtergläschen getrocknet und gewogen, und der Stickstoff nach Kjeldahl bestimmt. Diese zweite Methode ließ sich sicherer und bequemer durchführen, als die mit Salzsäure. Es eignete sich hierfür aber besser die gefeilte Knochensubstanz, aus der sich wegen der Kleinheit der Teilchen besser der Leim durch Kochen mit Wasser ausziehen ließ. Ich versuchte nun die im Holleman angegebene Zahl von 17,9 % Stickstoff im Leim nachzuprüfen. Der Stickstoffgehalt schwankte in der nach der zweiten Methode gewonnenen Substanz zwischen 17,5 % und 18,2 %, in der nach der ersten Methode gewonnenen war er gegen 20 %. Die nach diesen beiden Methoden gewonnenen Substanzen erschienen mir jedoch nicht genügend einwandfrei. Ich benutzte sie daher zur genauen Bestimmung des Faktors.

Nach Tabelle Nr. 3 gibt es nun auch beim Protein **keinen Unterschied zwischen Lauf- und Schrittpferden,** da ja der Stickstoffgehalt der ursprünglichen Substanz, wie wir bereits sahen, nicht wesentlich im Mittel verschieden war.

Zu den **Kohlensäurebestimmungen** verwandte ich 1 g der gefeilten Substanz, aus der ich die Kohlensäure mit zehnprozentiger Salzsäure austrieb; diese fing ich im Geißlerschen Kaliapparat mit 33 prozentiger Kalilauge auf. Es ist dies die gewöhnliche Kohlensäure-Bestimmung. Da ich aber sehr viel

Zeit für Voruntersuchungen zur Prüfung der Methode verwandte in allen Modifikationen, wie sie bei Fresenius, Quantitative Analyse (6. Aufl. 1876) Bd. II S. 435 und folgende, und in sonstigen Vorschriften für quantitative Analysen angegeben sind, so scheint es mir berechtigt, die Erfahrung, die ich hierbei gewann, mitzuteilen. Am besten bewährte sich folgender Gang der Untersuchung. Die Substanz wurde in einen Kolben gebracht, an dem seitswärts am Hals ein gebogenes Glasrohr mit erweiterter Kugel angeschmolzen war. Der Boden des Kolbens war kugelig, nicht flach, zur besseren Verteilung der Wärme bei der später stattfindenden Erhitzung. In diesen Kolben ragte durch einen Gummistopfen von oben ein Scheidetrichter, dessen unteres Rohr bis auf den Boden des Kolbens reichte und hier umgebogen war, damit keine Kohlensäure bei der Austreibung in die Röhre des Scheidetrichters hinaufsteigen konnte. Der letztere faßte in seinem erweiterten Teile etwa 60 ccm und wurde von der äußeren Luft durch eine mit Natronkalk gefüllte Aufsatzröhre abgeschlossen, um die Kohlensäure der Luft abzuhalten. An das an den Kolben angeschmolzene Glasrohr schlossen sich weiter an zunächst ein U-rohr, gefüllt mit Bimsteinstückchen, welche mit konzentrierter Schwefelsäure getränkt waren; dann ein U-rohr, gefüllt im vorderen Teil mit Kalziumchloridstückchen und im hinteren Teil mit geglühten Kupfersulfatstückchen; ferner ein Geißlerscher Kaliapparat inkl. Kalziumchloridröhrchen und zum Schluß an diesen eine Röhre mit Natronkalk und Kalziumchloridstückchen. Es wurde 1 g Substanz in den Kolben mit etwas Wasser hineingespült, dann aus dem Scheidetrichter langsam zehnprozentige Salzsäure, etwa 50 ccm, zugefügt. Bevor alle Salzsäure aus dem Scheidetrichter abgelaufen war, wurde dieser durch einen Hahn abgesperrt und die Flüssigkeit im Kolben

durch gelindes Erwärmen allmählich zum Kochen gebracht. Hierbei absorbierte zunächst und zum größten Teil die konzentrierte Schwefelsäure, dann die Kalziumchloridstückchen die mitgerissenen Wasserdämpfe. Das geglühte Kupfersulfat diente als Indikator für die vollkommene Absorbtion durch die Schwefelsäure und das Kalziumchlorid; außerdem wurde hier mitgerissenes Chlorwasserstoffgas zurückgehalten, sodaß also bei vorsichtiger Ausführung nur die Kohlensäure den Geißlerschen Apparat erreichen konnte. Die hinter den Geißlerschen Apparat eingeschalteten Röhren mit Natronkalk und Kalziumchlorid dienten dazu, von dieser Seite ein eventuelles Eindringen der Kohlensäure und des Wasserdampfes der Luft zu verhindern. Alle Verbindungen zwischen den einzelnen Glasteilen waren sehr kurz und luftdicht hergestellt. Sobald die Flüssigkeit in dem Kolben kochte, wurde der Scheidetrichter wieder geöffnet und in schwachem Strome etwa ein Liter Luft vermittels einer Saugpumpe durch den ganzen Apparat gesogen. Die Saugpumpe war durch eine hochgestellte mit Wasser gefüllte Flasche hergestellt, an der man aus angebrachten Marken das Quantum des abgelaufenen Wassers und damit das Quantum der durchgesogenen Luft ablesen konnte. Die Entwicklung wurde derart in Gang gesetzt, daß in einer Sekunde etwa e i n e Luftblase im Kaliapparat zu bemerken war. Eine schnellere Entwicklung und ein schnelleres Durchsaugen der Luft beeinträchtigte die Sicherheit der Bestimmung. Nachher wurde der Geißlersche Apparat sofort abgenommen und gewogen. In einigen Fällen, in denen er etwas warm geworden war, wurde das Erkalten unter Verschluß abgewartet. Vorversuche mit schwachgeglühtem Natriumkarbonat ergaben auf diese Weise sehr genaue Resultate. Es sei noch bemerkt, daß qualitativ die Gegenwart von Sulfiden nicht nachgewiesen

werden konnte, welche mit Salzsäure Schwefelwasserstoff hätten bilden können, der ebenfalls im Kaliapparat absorbiert worden wäre. Durch Zusatz von Quecksilberchlorid in den Kolben hätte man dann den entstehenden Schwefelwasserstoff leicht binden können unter Bildung von Quecksilbersulfid.

Die gewonnenen Resultate zeigen nun, daß das Verhältnis des Kohlensäuregehalts zur Substanz sowohl, wie in Prozenten der Asche bei den **Pferdegruppen** im Durchschnitt **annähernd gleich ist.** Beträchtlich sind die Schwankungen bei den einzelnen Gruppen, aber in **keiner Weise** ist ein Anhalt da, der durchgehends **zugunsten** einer **Pferdegruppe** entscheiden könnte.

Es folgt nun weiter auf Tabelle Nr. 3 die **Summenberechnung** aus hygroskopischem Wasser, Mineralbestandteilen, Protein und Kohlensäure in Prozenten der Substanz. Genau genommen müßte sich als Summe 100 ergeben. Im Mittel kommt nur etwas mehr als 98 % bei beiden Pferdegruppen heraus. Die kleine Differenz ist nach meiner Meinung darin begründet, daß der Stickstofffaktor des Leims unsicher ist; nach der berechneten Summe scheint es allerdings, als ob der Stickstoffgehalt des Knocheneiweißes unter 17 % läge, was dann eine Erhöhung der Prozentzahl für Protein zur Folge gehabt hätte.

Es ist mir nicht wahrscheinlich, daß noch **andere organische Körper** z. B. Glykogen im wesentlichen Mengen in Betracht kommen. Immerhin ist es nicht ausgeschlossen, daß die Differenz durch organische Stoffe veranlaßt wird. Diese Frage möchte ich einer anderen Untersuchung überlassen. Ueberdies kann ich Bedenken in bezug auf die Fettbestimmung nicht unterdrücken. Wenn auch die Zerkleinerung des Knochens verhältnismäßig sehr fein geschah,

so scheint es mir doch nicht ganz sicher, daß die einzelnen Teilchen immer genügend von Aether durchdrungen werden, da überdies die Leimsubstanz durch den Aether zum starken Koagulieren gebracht wird. Bei der feinen Zerkleinerung wird zwar der Fehler nicht groß sein, er kann aber doch zur Differenz noch beitragen.

Die Mineralbestandteile der Asche.

Was die Bestimmung der einzelnen **Aschenbestandteile** betrifft, so soll zunächst eine genaue Beschreibung der bei der chemischen Untersuchung angewandten Methoden folgen, da sie dem vorliegenden Zweck in einigen Punkten angepaßt sind. Der von 2 g gefeilter Substanz erhaltene Glührückstand wurde mit konzentrierter Salzsäure vom spezifischen Gewicht 1,15 in einer Kochflasche behandelt. Dazu setzte ich einige Tropfen Salpetersäure und erhitzte das ganze zum Sieden, bis anzunehmen war, daß alles Lösliche gelöst war, und filtrierte durch ein aschefreies Filter.

Das Filtrat wurde in einer Porzellanschale zur Trockne eingedampft und wieder mit Salzsäure aufgenommen; zweimal wurde diese Prozedur wiederholt, wobei darauf gesehen wurde, daß unter fortwährendem Umrühren mit einem Glasstab eine pulverige Masse entstand. Zum Schluß wurde wieder mit konzentrierter Salzsäure aufgenommen und nach einstündigem Stehenlassen in einen Maßkolben von 500 ccm filtriert. Auf dem Filter sollte, vorausgesetzt daß kein Fluor vorhanden war, die **aufgeschlossene und wieder ausgeschiedene Kieselsäure** bleiben. Es ließen sich aber nur ganz geringe Spuren bei den ersten Versuchen nachweisen, daher wurde das letzte Verfahren nicht wiederholt, sondern nach dem Aufkochen mit

konzentrierter Salzsäure sofort in einen Maßkolben filtriert, so daß also die als Kieselsäure verzeichneten Resultate den **nicht aufschließbaren Rückstand** darstellen.

Bei beiden Pferdegruppen erscheinen die vorhandenen Mengen fast gleich sowohl in Prozenten der Substanz, wie auch in Prozenten der Asche. **Folgerungen** lassen sich daraus **nicht** ziehen.

Weiter wurde nun von dem Filtrat 50 ccm, entsprechend 0,2 g Substanz, abgemessen und darin nach der Citratmethode die **Phosphorsäurebestimmung** ausgeführt, und zwar entschloß ich mich zu dieser etwas bequemeren Methode, da Vorversuche mit der Molybdänmethode nach Fresenius (Quantitative Analyse Bd. II. S. 691) die gleichen Resultate ergeben hatten. Das angewandte Verfahren war folgendes: Zu der durch Ammoniak neutralisierten Lösung setzte ich 50 ccm zitronensaures Ammoniak und 10 ccm Magnesiamischung. [Beide Reagenzien wurden getrennt nach den Vorschriften hergestellt, wie sie sich finden in König: „Untersuchung landwirtschaftlich und gewerblich wichtiger Stoffe“ (3. Aufl. 1906) S. 963 resp. 964.] Die Flüssigkeit wurde fünf Minuten hindurch sorgfältig gerührt, und blieb dann mindestens sechs Stunden stehen. Das Filtrieren geschah durch ein aschefreies Filter, wonach mit $2^1/_2$ prozentigem Ammoniak bis zum Verschwinden der Chlorreaktion ausgewaschen wurde. Der Rückstand wurde in einem Porzellantiegel geglüht. Zur Kontrolle befeuchtete ich nachher den Glührückstand mit reiner Salpetersäure, wodurch die graue Farbe sich beim weiteren Glühen in eine reinweiße umwandelte. Das Gewicht blieb aber hierbei jedesmal dasselbe. Durch Multiplikation der gewonnenen Menge pyrophosphorsaurer Magnesia mit dem Faktor 0,6379 erhielt ich die gesuchte Menge Phosphorsäureanhydrit.

Andere 50 ccm der Lösung wurden zu weiteren Bestimmungen abgemessen. Es wurde dann mit Ammoniak neutralisiert. Danach wieder durch Essigsäure schwach sauer gemacht, reichlich Wasser zugegeben, zum Kochen gebracht und während des Kochens festes essigsaures Natrium zugesetzt. Das sich ausscheidende basisch-essigsaure **Eisen** und phosphorsaure Eisen wurde sofort filtriert und mit heißem Wasser ausgewaschen, geglüht und gewogen. Trotzdem nur Spuren von Eisen vorhanden waren, wurde die Ausfällung bei jeder Probe ausgeführt, und dann erst das Filtrat zur Kalkbestimmung verwandt. Der Rückstand war in **keinem** Falle wägbar.

Das essigsaure Filtrat wurde mit 10 ccm zehnprozentiger Essigsäure noch stärker sauer gemacht und zum Kochen gebracht; während des Kochens wurden etwa 50 ccm oxalsaures Ammoniak zugesetzt; [die Lösung von oxalsaurem Ammoniak wurde nach der Vorschrift von J. König, a. a. O. S. 970 hergestellt] nach zweistündigem Stehen filtriert, und das Filter mit heißem Wasser ausgewaschen. Auf dem Filter blieb oxalsaurer **Kalk**. Für die weiteren Bestimmungen des Kalziumoxyds aus dem oxalsauren Kalk machte ich zunächst Voruntersuchungen unter Verwendung von reinem Kalziumkarbonat zur Prüfung der Methoden.

Ich trocknete das gewogene Filter mit dem Niederschlag zwei Stunden bei 100 Grad Celsius im Trockenschrank, und wog den Kalk als oxalsauren Kalk.

Weiter verwandelte ich den oxalsauren Kalk bei schwachem Glühen im Tiegel in Kalziumkarbonat, ersetzte etwa ausgetriebene Kohlensäure durch Befeuchten mit Ammoniumkarbonat und errechnete so den Kalziumoxydgehalt aus dem Karbonat.

Ferner glühte ich im Gebläse das Kalziumkarbonat eine halbe Stunde lang und wog direkt das Kalziumoyxd.

Dann stellte ich aus dem Kalziumoxyd eine salzsaure Lösung her, fällte den Kalk mit Schwefelsäure als Gips aus, setzte 96 prozentigen Alkohol zu und filtrierte nach vierundzwanzigstündigem Stehen, wobei ich nachher mit Alkohol auswusch. Beim Glühen des Rückstandes machte das Abrauchen der zurückgebliebenen Schwefelsäurereste viel Schwierigkeit, außerdem war die Möglichkeit vorhanden, daß durch die reduzierende Wirkung der Filterkohle Sulfide entstanden. Die Kontrolle, ob durch Schwefelsäure alles ausgefällt war, machte ich durch Verdampfen eines Tropfens des Filtrats auf Platinblech, wobei kein Rückstand blieb.

Besser als dieses Verfahren eignete sich eine weitere, von mir untersuchte Methode, bei der sofort im Tiegel aus Kalziumoxyd eine salzsaure Lösung hergestellt und durch Zugabe von konzentrierter Schwefelsäure die Umwandlung in Gips bewirkt wurde. Ich umging so die Benutzung des Filters, wenn auch das lästige Abrauchen der Schwefelsäure blieb.

Bei allen nach obigen Methoden gemachten Voruntersuchungen erhielt ich keine so genauen und übereinstimmenden Resultate als mit der folgenden. Ich glühte den ausgefällten oxalsauren Kalk einige Stunden sehr stark; dann brachte ich den Glührückstand in einen Erlemeyer, zerkleinerte[1]) ihn mit einem Glasstab möglichst fein und setzte 20 ccm titrierte p. $^1/_5$ N. Schwefelsäure[2]) zu. Dann kochte ich und titrierte mit p. $^1/_{10}$ N.

---

[1]) Durch das feine Zerkleinern verhinderte ich die Krustenbildung durch Gips und bewirkte vollständige Lösung.

[2]) Ich gebrauchte nicht titrierte Salzsäure, weil sie beim Kochen flüchtig ist und bei kalter Titration einen wenig sichtbaren Umschlag bebewirkte. Salpetersäure kam wegen der geringen Beständigkeit nicht in Betracht.

Natronlauge. Auf diese Weise erhielt ich recht genaue Resultate. Ich wählte daher für meine Untersuchung die beschriebene Titrationsmethode zur Kalkbestimmung.

Zur **Magnesiabestimmung** setzte ich zu dem Filtrat von dem oxalsauren Kalk 10 ccm phosphorsaures Natrium und etwas trockenes Chlorammonium, machte mit Ammoniak basisch und gewann durch drei Minuten langes Umrühren den Niederschlag von pyrophosphorsaurem Magnesium. Nach mehr als sechsstündigem Stehen filtrierte ich, wusch mit $2^1/_2$ prozentigem Ammoniak bis zum Verschwinden der Chlorreaktion aus und glühte bis zum konstanten Gewicht. Aus pyrophosphorsauren Magnesium erhielt ich durch Multiplikation mit dem Faktor 0,3623 den Gehalt an Magnesia.

Zur **Schwefelsäurebestimmung** fällte ich aus weiteren 50 ccm der salzsauren Lösung in der Hitze durch Zusatz von heißer Baryumchloridlösung Baryumsulfat, aus dem ich durch Multiplikation mit dem Faktor 0,3430 das Schwefelsäureanhydrit berechnete. Die Bestimmung der Sckwefelsäure wurde im übrigen ausgeführt nach der Vorschrift in J. König a. a. O. S. 29. Ebendaselbst findet sich S. 970 die Vorschrift zur Herstellung der Baryumchloridlösung, wie ich sie verwandte.

Ich prüfte weiter qualitativ auf die Gegenwart von Sulfiden in der Asche in folgender Weise. In einer Flasche übergoß ich die Asche von etwa 2 g Substanz mit konzentrierter Salzsäure, führte sodann mit Bleiessig getränkte Filtrierpapierstreifen ein, sodaß dieselben frei über der Flüssigkeit schwebten, und verschloß sofort. Es zeigte sich nicht die geringste Graufärbung.

Ferner bestimmte ich den **Chlorgehalt** in der Asche. 1 g Substanz wurde, um Verluste an Chloriden zu verhüten, schwach geglüht und daraus eine salpetersaure Lösung her-

gestellt. Zu dieser setzte sich nach Volhard 5 ccm $^1/_{10}$ N. Silbernitratlösung, dann als Indikator 1 ccm einer Lösung von Eisenammoniakalaun hinzu und titrierte mit $^1/_{10}$ N. Rhodanammoniumlösung auf eben sichtbar werdende Rotfärbung. Die Differenz der verbrauchten Kubikzentimeter Silbernitratlösung und der verbrauchten Kubikzentimeter Rhodanammoniumlösung, multipliziert mit dem Faktor 0,00355 ergibt die gesuchte Menge Chlor.

Die Mineralbestandteile mit Ausnahme des Chlors wurden als Oxyde in Prozenten der Asche ausgedrückt. Es muß also bei der Summenberechnung ein **Sauerstoffabzug für Chlor** in Abrechnung gebracht werden, da ja die gefundene Chlormenge den entsprechenden Teil des Sauerstoffs ersetzt. Ich muß also die gefundene Chlormenge in Sauerstoff umrechnen nach der Gleichung: $Cl : \frac{O}{2} =$ die gefundene Menge Chlor : x. Hierbei stellt x die äquivalente Menge Sauerstoff für die gefundene Menge Chlor dar, welche ich also in Abrechnung bringen muß bei der Summenberechnung der Aschenbestandteile. Ich multiplizierte die gefundene Chlormenge mit dem Faktor $0{,}2257 = \frac{O}{2\ Cl}$.

Außer den bis jetzt beschriebenen chemischen Untersuchungen wurden nun noch **Fluorbestimmungen** ausgeführt. Es ist in der Literatur die Ansicht vielfach verbreitet[1]), daß Fluor ein wesentlicher Bestandteil der Knochenasche sei. Fr. Holdefleiß berichtet in seinem Buch, „Untersuchungen über das Knochenmehl" (Berlin 1890) S. 11, von Versuchen von Heintz, nach dem in einem Ochsenknochen als Bestandteil der Substanz 1,96 % Fluor vorhanden war. Aber weitere

[1]) Vgl z. B J. Janning: „Die Knochenstärke der Pferde in ihrer Beziehung zur chemischen Zusammensetzung", Breslau 1908, S 30

Untersuchungen über den Fluorgehalt der eigentlichen Knochenerde sind nur spärlich gemacht worden. Fr. Holdefleiß, der wohl als erster und bis jetzt einziger sehr umfangreiche chemische Untersuchungen der Mineralbestandteile von bestimmten Knochen des Tierkörpers gemacht hat, dehnte, wie aus oben angeführtem Buche ersichtlich ist, seine Bestimmungen nicht auf den Fluorgehalt aus. Ebenso übergeht diesen Bestandteil Janning, trotzdem derselbe, wie bereits mitgeteilt, Fluor als „wesentlichen Mineralstoff des Knochens“ [1]) bezeichnet. Nach dem von Heintz mitgeteilten Resultat handelt es sich der Höhe der Zahl entsprechend um einen wesentlichen Mineralbestandteil, wenigstens des von demselben verwandten Materials d. i. eines Ochsenknochens. Daß Fluor weiter ein wesentlicher Mineralbestandteil des Zahnschmelzes ist, dürfte als sicher angenommen werden. Es existieren viele, weitere Mitteilungen über Mineralanalysen der Knochenasche, die aber meist aus Mischknochen hergestellt wurde, sodaß ihre Resultate hier nicht zur Betrachtung herangezogen werden können. Da ich nun auch von vornherein annahm, daß es sich bei Fluor um einen nicht zu unterschätzenden Mineralbestandteil der Knochenasche handelte, wovon geringe Mengen eventuell schon eine bedeutende Steigerung der Härte des Knochenmaterials hervorrufen könnten, so entschloß ich mich, quantitative Analysen auszuführen. 1 g Substanz wurde [2]) unter Zusatz von 5 ccm Essigsäure in einem Porzellantiegel eingedampft, später geglüht und dann in einem trockenen Kolben mit 5 g reinem Quarzsand vermischt. Dazu kamen 10 ccm konzentrierte Schwefelsäure. Als Vorlage dienten zwei Wulfsche Flaschen mit

[1]) Vgl Janning: „Die Knochenstärke der Pferde in ihrer Beziehung zur chemischen Zusammensetzung“. Breslau 1908, S. 30.

[2]) Vgl. J. König a. a. O. S. 163

destilliertem Wasser. Der Kolben wurde in einem Sandbad vier Stunden lang auf 140 Grad Celsius erhitzt. Das ausgetriebene Fluorsilizium bildete in dem Wasser der Vorlage Kieselfluorwasserstoffsäure, deren Menge durch Titration mit p. $^1/_{10}$ N. Natronlauge unter Verwendung von Phenophtalein als Indikator bestimmt wurde. Vor dem Auseinandernehmen des Apparates wurde etwa 1 l warme Luft, die in zwei Glasröhren vorgewärmt wurde, in schwachem Strome durch den Apparat gesaugt. Die Methode wurde in Vorversuchen mit Fluorkalzium und blind, d. h. ohne Fluorkalzium, geprüft, wobei sich genaue Resultate ergaben. Bei den Versuchen mit der Knochenasche meiner Pferde ließ sich nun nach der obigen Methode **kein Fluorgehalt** feststellen, trotzdem zwölfmal der Versuch bei größter Vorsicht wiederholt wurde.

Ich entschloß mich daher zur qualitativen Prüfung. Hierzu veraschte ich größere Mengen Knochensubstanz und benutzte etwa 2 g eigentliche Knochenasche. Die Prüfung wurde wiederholt ausgeführt genau nach der Methode, wie sie Fresenius beschreibt in seiner „Qualitativen Analyse“ (15. Aufl., Braunschweig 1885) S. 250. Es wurde die Asche in einer Platinschale mit konzentrierter Schwefelsäure übergossen. Die Platinschale wurde sofort mit einem Glasdeckel bedeckt, der nur teilweise mit Wachs überzogen war, sodaß einige kleine Stellen des Glases freiblieben. Dann wurde erwärmt. Es ergab sich auch hier ein negatives Resultat.

Es ist also kein Fluor in der Asche der Knochensubstanz der von mir zur Untersuchung herangezogenen Pferde gewesen. Bei der Schärfe der qualitativen Reaktion hätten sich selbst auch die geringsten Spuren bemerkbar machen müssen.

Es sind nun in der Knochenasche noch einige Mineralbestandteile vorhanden, die aber wahrscheinlich erst beim

Verbrennen aus der organischen Substanz frei werden. Dies bezieht sich vor allem auf den Gehalt an **Natron und Kali,** der ebenso wie der Gehalt an Eisen und Chlor den organischen Stoffen entstammt, die in den Ernährungskanälchen noch enthalten sind, welche zahlreich und in feiner Verteilung den ganzen Knochen durchziehen. Bei der **Geringfügigkeit** dieser sah ich von einer quantitativen Bestimmung derselben ab.

Bei Betrachtung der auf Tabelle Nr. 3 angegebenen Resultate zeigt sich nun, daß Chlor einen **ganz unwesentlichen** Bestandteil des Knochens bildet. Seine Menge ist individuell verschieden. Ein **Gruppenunterschied** zwischen Lauf- und Schritt-Pferden liegt hier aber **nicht** vor.

Ebenso ist der Gehalt an Magnesia sehr schwankend innerhalb der einzelnen Gruppen. Er beträgt im Mittel bei den Laufpferden 0,51 %, der Asche schwankend von 0,17 % bis 0,76 %. Bei den Schrittpferden liegt er zwischen 0,14 % und 0,97 %, im Mittel bei 0,61 %.

Der Gehalt an Schwefelsäure weist **ebenfalls keinen Gruppenunterschied** auf. Im Mittel ist er allerdings etwas größer bei den Laufpferden, nämlich 2,59 % gegenüber 2,28 % bei den Schrittpferden. Jedoch ist bei letzteren die Schwankung sehr groß und liegt zwischen 1,47 % und 3,51 %. Es geht also das Maximum weit über das Mittel und auch über das Maximum der Laufpferde, d. i. 3,18 % heraus.

Es bleibt noch die Betrachtung der für Phosphorsäure und Kalk gewonnenen Resultate übrig. Beide machen den Hauptbestandteil der Knochenasche aus, und zwar beide zusammen vor allem in der Form des neutralen Kalziumphosphats, d. i. Trikalziumphosphates; daneben kommt das zweibasische, ungesättigte Dikalziumphosphat vor. Das Vorhandensein des letzteren versucht man auf verschiedene Weise zu beweisen.

Einerseits bleibt bei der Verrechnung der gefundenen Mengen Phosphorsäure und Kalk zu Trikalziumphosphat etwas Phosphorsäure im Ueberschuß, die aber auch, sowie außerdem der Kalk organisch gebunden sein könnte. Andererseits soll nach Fr. Holdefleiß das Vorhandensein von Dikalziumphosphat dadurch erwiesen sein, daß ein Teil der Phosphorsäure sich mit zitronensaurem Ammoniak extrahieren läßt. Schließlich spricht die beim Veraschen entweichende Kohlensäure für das Vorhandensein des zweibasischen Salzes, da bei Gegenwart von Kalziumkarbonat eine Umsetzung etwa nach der Formel: $Ca_2 H_2 (PO_4)_2 + Ca CO_3 = Ca_3 (PO_4)_2 + CO_2 + H_2O$ möglich ist, wobei also Kohlensäure in Freiheit gesetzt wird. Die letzte Umsetzung ist auch eine Ursache, weshalb eine Kohlensäurebestimmung in der Asche unmöglich vollkommen genau auszuführen ist, da man nie weiß, wie weit solche Umsetzungen beim Glühen vor sich gegangen sind; außerdem wird eine genaue Kohlensäurebestimmung in der Asche dadurch unmöglich, daß durch das Glühen selbst ein Teil der Kohlensäure aus dem Kalziumkarbonat ausgetrieben wird, vor allem, wenn durch das Verbrennen der organischen, eiweißartigen Substanz Säuren des Schwefels gebildet werden, welche das Austreiben der Kohlensäure durch Bildung von Gips unterstützen. Aus diesem Grunde ergibt auch die Summe der Mineralbestandteile nicht genau 100, da es eben so schwer, ja fast unmöglich ist, den Kohlensäuregehalt der Asche durch das Glühen auf die gleiche Höhe zu bringen. Ich habe deshalb, um meinen Resultaten Vergleichswert zu geben, darauf geachtet, daß möglichst bei derselben Hitze und in gleicher Zeit verascht wurde. Um aber ganz genau zu gehen, hätte es sich empfohlen, in der gewonnenen Asche die Kohlensäure zu bestimmen und diese dann vom Glührückstand abzuziehen

und dann dieselbe Asche weiter auf Mineralbestandteile zu analysieren. Dann hätte man bei der Summenberechnung der letzteren, die genau 100 ergeben müßte, eine genaue Kontrolle der Analysen. Die letzte Kohlensäurebestimmung wäre natürlich für einen Vergleich, wie oben schon angedeutet, wertlos; sie legte nur den Begriff der Knochenasche genauer fest.

Das Verhältnis von Phosphorsäure und Kalk in Prozenten der Gesamtsubstanz, fettfreien Trockensubstanz und Asche zeigt nun, daß nach meinen Untersuchungen überall die **Schrittpferde** verhältnismäßig **mehr** Phosphorsäure und Kalk aufweisen. Vergegenwärtigen wir uns, daß sämtliche Bestimmungen des spezifischen Gewichts der eigentlichen Knochensubstanz zugunsten, d. i. höher bei den Schrittpferden ausgefallen waren, so war zu vermuten, daß derjenige Bestandteil des eigentlichen Knochenmaterials, welcher ein höheres spezifisches Gewicht besitzt, vor allem bei den Schrittpferden vertreten sein mußte, wenn derselbe in einer überwiegenden Menge gegenüber andern Bestandteilen vorhanden ist. Hier finden wir bei den Resultaten der Phosphorsäure- und Kalk-Bestimmungen die Bestätigung dafür. Freilich sind die Schwankungen recht beträchtlich, aber in einem gewissen Grade wird man hier doch einen **Gruppenunterschied** annehmen müssen, vor allem weil die Bestimmungen des spezifischen Gewichts in so typischer Weise zugunsten der Schrittpferde sprechen.

Prüfe ich nun meine Resultate auf etwaige Beziehung der Gehaltszahlen zu den Verschiedenheiten der untersuchten Pferde nach Geschlecht, Alter, Gewicht, Herzgewicht, Herzgewicht in Prozenten des Lebendgewichts, so komme ich zu dem Ergebnisse, daß zwischen diesen genannten Faktoren und den Gehaltszahlen in der Substanz und Asche **keine**

bestimmten Beziehungen bestehen, wenigstens, was das von mir untersuchte Material anbetrifft. Hengst war nur Schrittpferd Nr. 1, Stuten waren die Laufpferde Nr. I, V, VII, VIII, Wallache waren alle übrigen, nämlich die Laufpferde Nr. II, III, IV, VI, IX, X und die Schrittpferde Nr. 2, 3, 4, 5 und 6. Im übrigen verweise ich auf Tabelle Nr. 1, auf welcher Alter, Gewicht, Herzgewicht, Herzgewicht in Prozenten des Lebendgewichts wiedergegeben sind.

Meine Resultate scheinen in einem gewissen Widerspruch zu stehen mit dem von Janning in seiner Dissertationsschrift S. 45 mitgeteilten Ergebnissen. Bei ihm kehrt sich das Verhältnis der Prozentzahlen von Phosphorsäure und Kalk auffälliger Weise zugunsten der Laufpferde um. Der Grund liegt einmal darin, daß der Aschengehalt selbst, wie oben angeführt, wegen des Kohlensäuregehalts nur sehr schwer genau ermittelt werden kann. Besonders schwer sind Untersuchungen, die von verschiedenen Personen ausgeführt sind, zu vergleichen. Ferner hat er die Substanz zur Untersuchung in anderer Weise gewonnen und vorbereitet als ich; und schließlich ist die Auswahl der Tiere eine andere gewesen. Ich habe als Extreme zu den Schrittpferden vor allem Rassevertreter der Steppenpferde nach sorgfältiger Auswahl für meine Untersuchung gewonnen, während Janning, vorausgesetzt, daß die Besorgung der Knochen selbst durch einen Roßschlächter in bezug auf die angegebenen Rassen einwandfrei ausgeführt wurde, im Durchschnitt anderes Rassematerial verarbeitet hat. Betrachten wir z. B. die Resultate Jannings bei den beiden polnischen Pferden, so liegen dieselben unter dem Durchschnitt der Laufpferde. Ebenso drücken bei mir die Zahlen von dem Laufpferd Nr. IV, d. i. auch von einem Tier polnischer Rasse, die Mittelzahlen der Laufpferde

bedeutend herunter, während z. B. die Zahlen von dem Laufpferd Nr. III, d. i. von einem ostpreußischen Pferde, die Mittelzahlen der Laufpferde bedeutend erhöhen. Danach hätte ich bei einer zufälligen Bevorzugung von Pferden gerade solcher Rasse vielleicht ein ähnliches Resultat wie Janning erhalten.

Ich möchte hier noch auf die beiden letzten Reihen der Tabelle Nr. 3 hinweisen, in denen die Summe der Aschenbestandteile in verschiedener Weise berechnet ist. Es zeigt sich dort die Größe der Schwankung, auf die oben bei der Besprechung der Kohlensäurebestimmung S. 36 bereits hingewiesen wurde.

Im Anschluß an die chemischen Untersuchungen möchte ich darauf hinweisen, daß natürlich noch eine Vermehrung der Analysen und Untersuchungen überhaupt wünschenswert wäre. Doch glaube ich bei der Mannigfaltigkeit meines Materials, daß meine Resultate doch etwas zur Klärung der Frage beitragen können.

Es muß einer weiteren Arbeit noch vorbehalten bleiben, die physikalisch-mechanischen Eigenschaften und die histologischen Verhältnisse des Knochens zu untersuchen, um dann erst ein Gesamtbild von der **Festigkeit des Knochens** zu erhalten.

Schlußfolgerungen.

1. **Das spezifische Gewicht des ganzen, unverletzten Röhrenknochens** ist bei beiden Pferdegruppen fast gleich; **das spezifische Gewicht der Knochensubstanz mit und ohne Poren** beträgt bei den Schrittpferden mehr als bei den Laufpferden, bei denen das Material daher eine größere **Porösität** besitzt. Das Knochenmaterial der Schrittpferde ist in dieser Beziehung **besser** als das der Laufpferde.

2. Bei der chemischen Zusammensetzung liegt in Prozenten der Substanz **kein** Unterschied vor im Gehalt an **Trockensubstanz, hygroskopischem Wasser, Asche, Glühverlust, Stickstoff, Protein und Kohlensäure,** ferner berechnet in Prozenten der Asche ebenfalls **nicht** im Gehalt an **Kohlensäure, Kieselsäure, Eisen, Magnesia, Schwefelsäure und Chlor.**
3. Der **Fettgehalt** in Prozenten der Substanz ist vom augenblicklichen Ernährungszustand abhängig, bildet also auch **keinen** Gruppenunterschied. Beide Pferdegruppen haben **fast gleichen** Gehalt an **fettfreier Trockensubstanz und Asche in Prozenten der fettfreien Trockensubstanz.**
4. **Eisen, Chlor, Kieselsäure, Magnesia und Schwefelsäure** sind **unwesentliche** Bestandteile der Knochenasche und bilden **keine** Gruppenunterschiede.
5. **Sulfide und Fluor** kommen **nicht** in der Asche der Pferderöhren vor.
6. Der Gehalt an **Phosphorsäure und Kalk** in Prozenten der Substanz, fettfreien Trockensubstanz und Asche ist bei den **Schrittpferden** entsprechend dem höheren spezifischen Gewicht des Knochenmaterials **größer.**

Es möge mir vergönnt sein, meinen Dank zu sagen:

Sr. Exzellenz dem Wirkl. Geh. Rat Herrn Prof. Dr. J. Kühn † für die Erlaubnis, die Untersuchungen im Laboratorium des Landwirtschaftlichen Institutes ausführen zu dürfen.

Dem Geh. Reg. Rat Herrn Prof. Dr. E. Dorn für die Erlaubnis, Untersuchungen im Physikalischen Institut ausführen zu dürfen, sowie für mancherlei Ratschläge bezüglich meiner Arbeit.

Dem Kaiserl. Geh. Reg. Rat Herrn Prof. Dr. F. Wohltmann und Herrn Prof. Dr. med. et Dr. sc. nat. R. Disselhorst für mancherlei Ratschläge und Weisungen bezüglich meiner Arbeit.

Herrn Prof. Dr. Paul Holdefleiß für die Anregung der Arbeit und deren unermüdliche Unterstützung durch Rat und Tat.

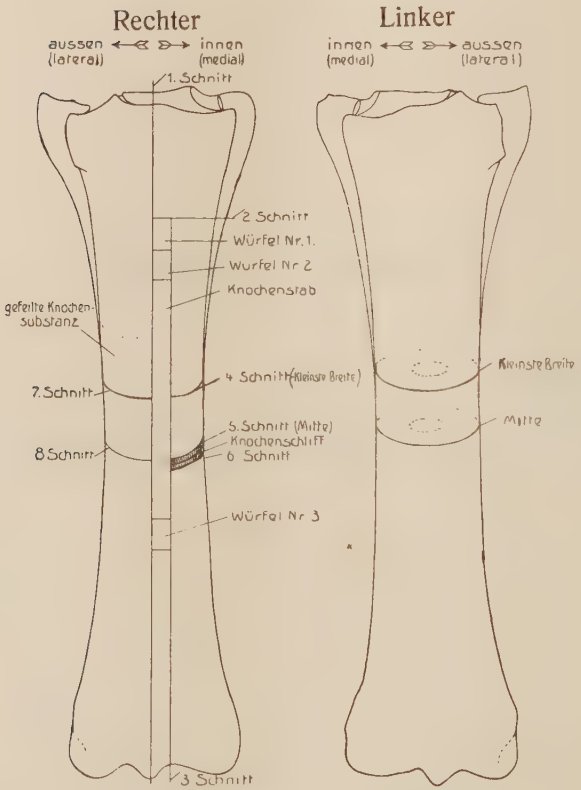
Tabellen und Figuren.

+ = Maximum.

○ = Minimum.

⁎ = Zahlen, die mit Einschränkung gewonnen wurden und bei der Durchschnittsberechnung unberücksichtigt blieben.

Vordermittelfußknochen



Figur Nr. 1. Figur Nr. 2.

Tabelle Nr. 1.

Laufende Nr. L.-Pferde	Geschlecht	Alter in Jahren	Gewicht kg	Herzgewicht g	Herzgewicht in % vom Lebendgew.
I	♀	⁂ 12½	—	—	—
II	○	9	+ 430	3460	0,80
III	○	15	413	3300	0,79
IV	○	>18	⁂ 320	2385	⁂ 0,74
V	♀	15	380	+ 3765	+ 0,99
VI	○	9	345	2965	0,86
VII	♀	>18	350	3155	0,90
VIII	♀	15	366	3220	0,88
IX	○	16	○ 330	○ 2320	○ 0,70
X	○	16	376	3120	0,83
Mittel	—	13,4	373,8	3077	0,84
S.-Pferde					
1	♂	>18	○ 433	○ 3330	0,77
2	○	7	708	4285	○ 0,60
3	○	15	+ 717	4995	0,69
4	○	15	626	4940	0,79
5	○	10	705	4825	0,68
6	○	12	685	+ 5710	+ 0,83
Mittel	—	12,9	645,7	4681	0,73

Tabelle Nr. 2*). Spezifisches

Laufende Nr.	Ganzer Knochen. Das Volumen wurde durch Bestimmung d. Gewichtsverlusts unter Wasser gefunden		Knochenwürfel. Das Volumen wurde durch Errechnung aus den Maßen der Länge, Breite und Dicke ermittelt		Bestimmung des mit dem Volumeno-	
					Gefeilte Substanz	Knochen- Einzeln
	rechts	links				
L.-Pferde	Spez. Gew A	Spez Gew. B	Spez. Gew. C	Spez. Gew. D	Spez. Gew. E	Spez. Gew. F
I	⁂ 1,486	⁂ 1,481	⁂ 1,916	⁂ 1,970	⁂ 2,304	⁂ 1,769
II	1,601	1,600	1,861	1,866	2,330	⁂ 1,107
III	○ 1,493	○ 1,502	1,911	1,891	2.282	1,864
IV	1,534	1,519	1,803	1,800	○ 2,277	○ 1,802
V	1,576	1,570	1,808	1,834	2,504	⁂ 1,483
VI	1,609	1,640	1,885	1,926	2,425	1,892
VII	1,575	1,570	1,793	+ 1,962	2,330	⁂ 1,634
VIII	+ 1,683	+ 1,668	+ 1,917	1,866	2,316	2,044
IX	1,631	1,636	1,882	1,857	+ 2,648	⁂ 1,774
X	1,534	1,543	○ 1,771	○ 1,758	2,445	+ 2,374
Mittel	1,582	1,583	1,848	1,864	2,395	⁂ 1,775
S.-Pferde						1,995
1	1,594	1,599	1,923	+ 2,110	+ 2,647	+ 2,444
2	+ 1,628	+ 1,641	1,911	1,909	○ 2,254	2,109
3	○ 1,547	○ 1,560	+ 1,931	1,926	2,424	2,084
4	1,552	1,563	1,848	1,887	2,449	○ 1,836
5	1,566	1,568	○ 1,843	1,905	2,404	2,218
6	1,611	1,597	1,911	○ 1,880	2,395	⁂ 1,593
Mittel	1,583	1,588	1.895	1,936	2,429	⁂ 2,047
						2,138

*) Vgl. Figur 1, 2.

Gewicht.

Volumens meter **würfel** Insgesamt gruppenweise Spez. Gew. G	Bestimmung des Volumens mit dem Pyknometer **Knochen-würfel** Spez. Gew. H	Es sind 1 g nach dem Spez. Gew. „H“ ccm	Es sind 1 g nach dem Spez. Gew. „E“ ccm	ccm Porösität in 1 g ccm	ccm Porösität in 1 ccm = Porösität in % des Volumens
	✳ 2,066	✳ 0,484	✳ 0,434	✳ 0,050	✳ 10,33
	1,981	0,505	0,429	0,076	15,06
	1,961	0,510	0,438	○ 0,072	○ 14,12
	○ 1,913	+ 0,523	+ 0,439	0,084	16,07
L.-Pferde	1,962	0,510	0,399	0,111	21,78
Nr. II bis X	+ 1,985	○ 0,504	0,412	0,092	18,26
1,888	1,979	0,505	0,429	0,076	15,04
	○ 1,983	○ 0,504	0,432	○ 0,072	14,28
	1,971	0,507	○ 0,378	+ 0,129	+ 25,43
	1,939	0,516	0,409	0,107	20,75
1,188	1,964	0,509	0,418	0,091	17,88
	+ 2,192	○ 0,456	○ 0,378	0,078	17,10
	2,009	+ 0,498	+ 0,444	○ 0,054	○ 10,85
S.-Pferde	2,025	0,494	0,413	0,081	16,40
Nr. 1 bis 6	2,011	0,497	0,408	+ 0,089	+ 17,90
1,949	2,027	0,493	0,416	0,077	15,61
	○ 2,008	+ 0,498	0,418	0,080	16,06
1,949	2,045	0,489	0,413	0,077	15,65

Tabelle Nr. 3*). Chemische

Laufende Nr. L.-Pferde	Trocken-Subst. in % der Substanz	Trocken-Subst. Hygroscopisches H_2O	Trocken-Subst. Tr.-Subst. — Fett = fettfreie Tr.-Subst.	Asche in % der Substanz	Asche Glühverlust	Asche in % der fettfreien Tr.-Subst.	Aetherauszug = Fett in % d. Subst	N in % der Substanz	N Protein in % der Substanz	CO_2 in % der Substanz	CO_2 in % der Asche	S. S. von: Hygroscop. H_2O. Asche. Fett. Protein u CO_2 in % der Subst.	P_2O_5 in % der Substanz	P_2O_5 in % der Asche	P_2O_5 in % der fettfreien Trocken-Substanz
I	✱ 94,87	✱ 5,13	✱ 94,53	✱ 66,75	✱ 28,12	✱ 70,6	✱ 0,34	✱ 3,90	✱ 21,79	✱ 4,05	✱ 6,07	✱ 98,06	✱ 26,79	✱ 40,13	✱ 28,34
II	94,59	5,41	91,73	62,60	31,99	○ 68,2	2,86	4,20	23,47	4,25	6,80	98,59	24,95	39,86	27,20
III	94,72	5,28	90,09	61,80	32,92	68,6	4,63	4,09	22,85	4,20	6,80	98,76	+ 25,02	+ 40,48	27,77
IV	94,82	5,18	○ 85,65	○ 59,35	+ 35,48	69,3	+ 9,18	○ 3,76	○ 21,01	○ 3,88	6,53	98,60	○ 22,49	37,89	26,26
V	○ 94,27	+ 5,73	93,26	+ 65,25	○ 29,02	+ 70,0	1,01	4,12	22.99	4,18	6,40	+ 99,16	23,92	○ 36,65	○ 25,65
VI	94.30	5,70	93,57	65,10	29,20	69,6	0,74	4,05	22,63	4,05	○ 6,22	98,22	24,40	37,48	26 08
VII	94,50	5,50	94,05	65,08	29,42	69,2	○ 0,45	4,15	23,19	4,60	7,07	98,82	24,72	37,98	26,28
VIII	94,70	5,30	+ 94,16	65,00	29,70	69,0	0,54	+ 4,22	+ 23,58	4,30	6,62	98,72	24,25	37,31	25,75
IX	94,55	5,45	93,36	65,05	29,50	69,7	1,19	3,99	22,29	4,15	6,38	○ 98,13	24,56	37,76	26,31
X	+ 95,30	○ 4,70	91,77	63,95	31,35	69,7	3,53	3,93	21,96	+ 4,75	+ 7.43	98,89	25,67	40,14	+ 27,97
Mittel	94,64	5,36	91,96	63,69	30,95	69,26	2,68	4,06	22,66	4,26	6,69	98,65	24,44	38,39	26,59
S.-Pferde															
1	○ 94,31	+ 5,69	○ 90,76	○ 62,40	31,91	68,7	3,55	○ 3,87	○ 21,62	○ 4,10	○ 6.50	○ 97 36	25,35	+ 40,62	+ 27,93
2	95,13	4,87	92,94	63,63	31,51	68,5	2,20	+ 4,18	+ 23,35	+ 4,50	+ 7,07	98,55	○ 24,24	○ 38,10	○ 26,08
3	94,87	5,13	92,27	+ 64,22	○ 30,65	69,6	2,60	4,00	22,35	4,30	6,69	98.60	24,56	38.24	26,62
4	+ 95,55	○ 4,45	+ 93,37	63,90	31,65	○ 68,4	2,18	4,06	22,68	4,20	6,57	97,41	+ 25,36	39,69	27,16
5	94,45	5,55	91,25	63,65	30,80	+ 69 8	3,20	3,95	22,07	4,45	6,99	+ 98,92	24,88	39,09	27,27
6	94,45	5,55	91,54	62,00	+ 32,45	○ 67,7	+ 3,91	4,07	22,74	4,15	6 69	98,35	25,04	40,39	27,35
Mittel	94,79	5,21	92,02	63,30	31,49	68,78	2,94	4 02	22,47	4,28	6,75	98,20	24,90	39,35	27,07

*) Vgl. Figur 1, 2.

Analysen.

CaO			SiO_2		Fe_2O_3	MgO		SO_3		Cl			S. S. von	
in % der Substanz	in % der Asche	in % der fettfreien Trocken-Substanz	in % der Substanz	in % der Asche	in % der Substanz	in % der Substanz	in % der Asche	in % der Substanz	in % der Asche	in % der Substanz	in % der Asche	O-Abzug für Cl	P_2O_5, CaO, SiO_2, Fe_2O_3, MgO, SO_3, Cl weniger O-Abzug für Cl in % der Asche	P_2O_5, CaO, SiO_2, Fe_2O_3, MgO, SO_3, Cl + <O-Abzug für Cl + CO_2 in % der Asche
35,60	53,33	37,66	0,02	0,03	Spur	0,13	0,19	1,72	2,57	—	—	—	96,25	102,32
33,07	52,66	36,05	0,03	0,05	Spur	0,11	0,17	1,59	2,54	—	—	—	95,28	102,08
32,81	53,09	36,42	0,02	0,03	Spur	0,11	0,17	1,67	2,70	—	—	—	96,47	103,27
29,97	50,49	34,99	0,10	0,13	Spur	0,45	0,76	1,89	3,18	0,05	0,08	0,02	92,51	99,04
33,52	51,37	35,94	0,11	0,14	Spur	0,49	0,75	1,97	3,02	0,07	0,11	0,03	92,01	98,41
33,43	51,35	35,73	0,10	0,15	Spur	0,22	0,33	1,63	2,50	0,03	0,05	0,01	91,85	98,07
33,71	51,80	35,84	0,10	0,15	Spur	0,34	0,53	1,80	2,77	0,01	0,02	0,01	93,24	100,31
33,85	52,12	35,95	0,10	0,15	Spur	0,41	0,63	1,46	2,25	Spur	Spur	—	92,46	99,08
33,43	51,43	35,81	0,10	0,15	Spur	0,45	0,70	1,63	2,51	0,05	0,08	0,02	92,61	98,99
33,15	51,84	36,12	0,15	0,23	Spur	0,36	0,57	1,20	1,88	0,04	0,06	0,01	94,71	102,14
32,99	51,79	35,87	0,09	0,13	Spur	0,34	0,51	1,97	2,59	0,04	0,06	0,02	93,45	100,15
33,43	53,57	36,83	0,03	0,04	Spur	0,09	0,14	1,72	2,76	0,06	0,09	0,02	97,20	103,70
33,29	52,31	35,82	0,14	0,22	Spur	0,62	0,97	2,23	3,51	0,08	0,13	0,03	95,21	102,28
33,43	52,05	36,23	0,12	0,19	Spur	0,62	0,96	1,46	2,27	0,08	0,13	0,03	93,81	100,50
33,71	52,75	36,10	0,10	0,15	Spur	0,32	0,49	0,94	1,47	0,05	0,08	0,02	94,61	101,18
34,14	53,64	37,40	0,12	0,19	Spur	0,36	0,56	1,11	1,74	0,04	0,06	0,01	95,27	102,26
33,00	53,23	36,05	0,05	0,08	Spur	0,32	0,51	1,20	1,93	0,05	0,07	0,02	96,19	102,88
33,50	52,93	36,40	0,09	0,15	Spur	0,39	0,61	1,28	2,28	0,06	0,09	0,02	95,38	102,13